

4/14  
3/31/02

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 8月21日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-250028

出 願 人

Applicant(s):

株式会社アドバンテスト

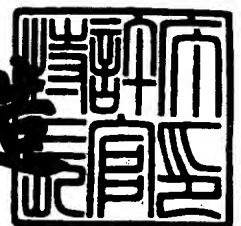


CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2001年 5月11日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3040588

【書類名】 特許願

【整理番号】 9401

【提出日】 平成12年 8月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 17/00

【発明の名称】 電波監視方法及び装置

【請求項の数】 15

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバン  
                        テスト内

    【氏名】 北吉 均

【特許出願人】

    【識別番号】 390005175

    【氏名又は名称】 株式会社アドバンテスト

【代理人】

    【識別番号】 100087479

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 北野 好人

【選任した代理人】

    【識別番号】 100114915

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 三村 治彦

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 003300

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0006247

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電波監視方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一の地点において電波の到来方向及び強度のパターンを観測し、

前記一の地点における観測結果を、前記一の地点から電波を発射したときに他の複数の地点において観測される電波の到来方向及び強度のパターンのシミュレーション結果と比較し、

前記複数の地点のうち前記一の地点における前記観測結果と最も相関の強い電波の到来方向及び強度のパターンを与える地点を電波発射源と特定する

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の電波監視方法において、

前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、観測地域を 2 次元的に複数の領域に分割し、分割した各領域において観測される電界強度を計算する

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の電波監視方法において、

前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、観測地域を 3 次元的に複数の空間に分割し、分割した各空間において観測される電界強度を計算する

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 4】 請求項 2 又は 3 記載の電波監視方法において、

前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、前記一の地点から発射される電波の発射方向を変えて前記各領域又は前記各空間において観測される電界強度をそれぞれ計算し、電波の発射方向毎に電界強度分布を求める

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 5】 請求項 2 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の電波監視方法において、

前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、前記観測地域の地形や地物を考慮して電波の到来経路を計算する

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 6】 請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の電波監視方法において、

特定された前記電波発射源の位置と前記シミュレーション結果に基づいて、前記一の地点から前記電波発射源までの電波の伝搬経路をトレースする

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 7】 請求項 6 記載の電波監視方法において、

前記伝搬経路のトレース結果に基づき、前記電波発射源のアンテナ指向性を推定する

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 8】 請求項 7 記載の電波監視方法において、

推定された前記電波発射源のアンテナ指向性に基づき、前記電波発射源から発せられた電波の電界強度分布を求める

ことを特徴とする電波監視方法。

【請求項 9】 一の地点に設けられ、電波の到来方向及び強度のパターンを観測する電波観測手段と、

前記一の地点から電波を発射したときに他の複数の地点において観測される電波の到来方向及び強度のパターンのシミュレーション結果を記憶する記憶手段と

前記電波観測手段における観測結果と、前記記憶手段に記憶されているシミュレーション結果とを比較し、前記複数の地点のうち前記電波観測手段における前記観測結果と最も相関の強い電波の到来方向及び強度のパターンを与える地点を電波発射源と特定する電波発射源特定手段と

を有することを特徴とする電波監視装置。

【請求項 10】 請求項 9 記載の電波監視装置において、

前記記憶手段は、観測地域を 2 次元的に複数の領域に分割し、前記一の地点か

ら電波を発射したときに、分割した各領域において観測される電界強度を計算する

ことを特徴とする電波監視装置。

【請求項 1 1】 請求項 9 記載の電波監視装置において、

前記記憶手段は、観測地域を 3 次元的に複数の空間に分割し、前記一の地点から電波を発射したときに、分割した各空間において観測される電界強度を計算する

ことを特徴とする電波監視装置。

【請求項 1 2】 請求項 1 0 又は 1 1 記載の電波監視装置において、

前記記憶手段は、前記一の地点から発射される電波の発射方向を変えたときに前記各領域又は前記各空間において観測される電界強度を、電波の発射方向毎に記憶する

ことを特徴とする電波監視装置。

【請求項 1 3】 請求項 9 乃至 1 2 のいずれか 1 項に記載の電波監視装置において、

前記電波発射源特定手段により特定された前記電波発射源の位置と前記シミュレーション結果に基づいて前記一の地点から前記電波発射源までの電波の伝搬経路をトレースする伝搬経路トレース手段を更に有する

ことを特徴とする電波監視装置。

【請求項 1 4】 請求項 1 3 記載の電波監視装置において、

前記伝播経路トレース手段による前記伝搬経路のトレース結果に基づいて前記電波発射源のアンテナ指向性を推定するアンテナ指向性推定手段を更に有する

ことを特徴とする電波監視装置。

【請求項 1 5】 請求項 1 4 記載の電波監視装置において、

前記アンテナ指向性推定手段により推定された前記電波発射源のアンテナ指向性に基づいて前記電波発射源から発せられた電波の電界強度分布を求める電界強度分布算出手段を更に有する

ことを特徴とする電波監視装置。

【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、一定の地域内で不法無線局などの電波発射源の位置を特定し、電波利用環境を監視しうる電波監視方法及び装置に関する。

## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

従来、ある地域内にある不法無線局などの電波発射源の位置を特定する際には、複数の地点にセンサ局（監視局）を配置して、各センサ局において八木・宇田アンテナやゴニオメータなどを用いてその電波発射源からの電波の到来方向を観測し、それぞれのセンサ局での到来方向を地図上にプロットしてその交点の位置からその電波発射源の位置を推定していた。

## 【 0 0 0 3 】

上述した従来の方法は、監視対象の電波発射源からの電波がセンサ局まで単一の経路で直進して伝搬することを仮定している。しかしながら、電波発射源からの電波は、実際には、地形やビルなどの地物による回折や反射を経て、センサ局に伝搬してくることがある。また、電波発射源からの電波は、地形や地物の影響で複数の伝搬経路（マルチパス）を通過して、センサ局に到来することがある。従来の方法によって監視対象の電波発射源の位置を推定した場合、電波が回折や反射を経て伝搬することや複数の経路で伝搬することにより、電波発射源の位置の推定精度が悪くなるという問題点を生じる。

## 【 0 0 0 4 】

そこで、本願発明者は、上記従来の方法における問題点を解決する広域電波監視方法及び装置をすでに提案している（例えば、特開平 1 1 - 3 2 6 4 8 2 号公報を参照）。

## 【 0 0 0 5 】

特開平 1 1 - 3 2 6 4 8 2 号公報に記載の広域電波監視方法では、一定の地域内に 1 以上のセンサ局を配置し、地域内の複数の地点の各々について、当該地点に電波発射源があるとしたときのセンサ局での電波の到来方向を、地図情報を利用する計算機シミュレーションによって算出する。一方、センサ局において、伝

搬経路ごとに分離して電波発射源からの電波の到来方向を観測する。センサ局によって観測した電波の到来方向と計算機シミュレーションの結果とを比較し、計算機シミュレーションの結果の中から、観測した電波の到来方向と最も類似性が高い到来方向を示すものを探索して対応する地点を候補位置として判別する。更に、候補位置の周辺に電波発射源があるとして電波発射源の位置を調整しながら計算機シミュレーションを実行して電波発射源の位置を決定する。

#### 【 0 0 0 6 】

上記の方法によれば、回折や反射が存在するような場合であっても、電波発射源の位置を正確に決定することが可能となる。

#### 【 0 0 0 7 】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特開平 1 1 - 3 2 6 4 8 2 号公報に記載の広域電波監視方法及び装置では、地域内の複数の地点の各々について、当該地点に電波発射源があるとしたときのセンサ局での電波の到来方向を計算機シミュレーションによって算出するため、不特定な電波発射源に対して、電波伝搬の計算機シミュレーションによるデータベースを複数組用意する必要があった。更に、これらのデータベースを作成するのに時間を要してしまっていた。

#### 【 0 0 0 8 】

本発明の目的は、電波伝搬シミュレーションによるデータベースの作成時間を短縮し、電波監視の効率を向上する電波監視方法及び装置を提供することにある。

#### 【 0 0 0 9 】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的は、一の地点において電波の到来方向及び強度のパターンを観測し、前記一の地点における観測結果を、前記一の地点から電波を発射したときに他の複数の地点において観測される電波の到来方向及び強度のパターンのシミュレーション結果と比較し、前記複数の地点のうち前記一の地点における前記観測結果と最も相関の強い電波の到来方向及び強度のパターンを与える地点を電波発射源と特定することを特徴とする電波監視方法により達成される。



## 【 0 0 1 0 】

また、上記の電波監視方法において、前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、観測地域を2次元的に複数の領域に分割し、分割した各領域において観測される電界強度を計算するようにしてもよい。

## 【 0 0 1 1 】

また、上記の電波監視方法において、前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、観測地域を3次元的に複数の空間に分割し、分割した各空間において観測される電界強度を計算するようにしてもよい。

## 【 0 0 1 2 】

また、上記の電波監視方法において、前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、前記一の地点から発射される電波の発射方向を変えて前記各領域又は前記各空間において観測される電界強度をそれぞれ計算し、電波の発射方向毎に電界強度分布を求めるようにしてもよい。

## 【 0 0 1 3 】

また、上記の電波監視方法において、前記一の地点から電波を発射したときの電波の到来方向及び強度のパターンをシミュレーションする際には、前記観測地域の地形や地物を考慮して電波の到来経路を計算するようにしてもよい。

## 【 0 0 1 4 】

また、上記の電波監視方法において、特定された前記電波発射源の位置と前記シミュレーション結果に基づいて、前記一の地点から前記電波発射源までの電波の伝搬経路をトレースするようにしてもよい。

## 【 0 0 1 5 】

また、上記の電波監視方法において、前記伝搬経路のトレース結果に基づき、前記電波発射源のアンテナ指向性を推定するようにしてもよい。

## 【 0 0 1 6 】

また、上記の電波監視方法において、推定された前記電波発射源のアンテナ指

向性に基づき、前記電波発射源から発せられた電波の電界強度分布を求めるようにしてもよい。

【 0 0 1 7 】

また、上記目的は、一の地点に設けられ、電波の到来方向及び強度のパターンを観測する電波観測手段と、前記一の地点から電波を発射したときに他の複数の地点において観測される電波の到来方向及び強度のパターンのシミュレーション結果を記憶する記憶手段と、前記電波観測手段における観測結果と、前記記憶手段に記憶されているシミュレーション結果とを比較し、前記複数の地点のうち前記電波観測手段における前記観測結果と最も相関の強い電波の到来方向及び強度のパターンを与える地点を電波発射源と特定する電波発射源特定手段とを有することを特徴とする電波監視装置により達成される。

【 0 0 1 8 】

また、上記の電波監視装置において、前記記憶手段は、観測地域を2次元的に複数の領域に分割し、前記一の地点から電波を発射したときに、分割した各領域において観測される電界強度を計算するようにしてもよい。

【 0 0 1 9 】

また、上記の電波監視装置において、前記記憶手段は、観測地域を3次元的に複数の空間に分割し、前記一の地点から電波を発射したときに、分割した各空間において観測される電界強度を計算するようにしてもよい。

【 0 0 2 0 】

また、上記の電波監視装置において、前記記憶手段は、前記一の地点から発射される電波の発射方向を変えたときに前記各領域又は前記各空間において観測される電界強度を、電波の発射方向毎に記憶するようにしてもよい。

【 0 0 2 1 】

また、上記の電波監視装置において、前記電波発射源特定手段により特定された前記電波発射源の位置と前記シミュレーション結果に基づいて前記一の地点から前記電波発射源までの電波の伝搬経路をトレースする伝搬経路トレース手段を更に有するようにしてもよい。

【 0 0 2 2 】

また、上記の電波監視装置において、前記伝播経路トレース手段による前記伝搬経路のトレース結果に基づいて前記電波発射源のアンテナ指向性を推定するアンテナ指向性推定手段を更に有するようにしてもよい。

【 0 0 2 3 】

また、上記の電波監視装置において、前記アンテナ指向性推定手段により推定された前記電波発射源のアンテナ指向性に基づいて前記電波発射源から発せられた電波の電界強度分布を求める電界強度分布算出手段を更に有するようにしてもよい。

【 0 0 2 4 】

【発明の実施の形態】

本発明の一実施形態による電波監視方法及び装置について図 1 乃至図 6 を用いて説明する。図 1 は、本実施形態による電波監視方法を示す概略図、図 2 は、電波監視装置の構成を示すブロック図、図 3 は、電波伝搬シミュレーションモデルを示す概略図、図 4 は、回折係数を計算するための座標系を示す概略図、図 5 は、電波発射源の送信アンテナの指向性の推定を説明する図、図 6 は、電波監視方法の手順を示すフローチャートである。

【 0 0 2 5 】

（電波監視装置）

まず、本実施形態による電波監視装置の概要について図 1 を用いて説明する。

【 0 0 2 6 】

電波発射源 1 0 は特定すべき電波を発射する発射源であり、周波数  $f_1$  の電波を発射するものとする。このような電波発射源 1 0 から発射された電波の電波監視を行うために、監視区域内には、発射された電波の電波ホログラム観測を行うセンサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c が配置されている。センサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c は、回線 1 4 を介して、電波伝搬シミュレーションを行い、観測結果と比較し電波発射源の位置 1 0 を特定するセンタ局 1 6 に接続されている。

【 0 0 2 7 】

各センサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c には、電波ホログラム観測を行って電波再生像を出力する電波ホログラム観測再生装置 1 8 が設けられている。電波ホログ

ラム観測再生装置 1 8 は、例えば、固定アンテナと走査観測面内を走査する走査アンテナとを備えている。所定の観測周波数において固定アンテナでの受信信号と走査アンテナでの受信信号を相関させることによって走査観測面の各点での相関値（２次元複素インタフェログラム）を求め、この２次元複素インタフェログラムを再生することによって、電波再生像を得る。

#### 【 0 0 2 8 】

各センサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c には、電波発射源 1 0 からの電波が伝搬するが、山岳やその他の地物の影響により、電波発射源 1 0 からセンサ局へ直接伝搬する成分（直接波）の他、回折して伝搬する成分（回折波）や反射して伝搬する成分（反射波）が存在する。そこで、本実施形態では、各センサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c において、伝搬経路ごとの成分を分離してその到来方向や強度を求めるために、電波ホログラム観測を行い、電波像を再生することとしている。電波も波動の一種であるから、光のホログラムの場合と同様にホログラム観測を行うことができ、ホログラムを再生することによって電波再生像が得られ、この電波再生像から波源分布や強度などを調べることができる。なお、伝搬経路ごとの成分を分離して観測できるのであれば、電波ホログラム観測によらずに従来の方向探知技術を用いてもよい。

#### 【 0 0 2 9 】

センタ局 1 6 には、電波伝搬を計算機シミュレーションするためのシミュレーション装置 2 0 と、シミュレーション装置 2 0 によって予めシミュレーションを行った結果を格納しておくデータベース 2 6 と、各センサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c で観測された電波再生像とシミュレーションによる電界強度分布とを比較する比較部 2 8 とが設けられている。また、比較部 2 7 による比較結果から電波発射源 1 0 の位置を特定するとともに方向探知トレース図を作成、出力する方向探知トレース図作成部 3 0 と、位置が特定された電波発射源 1 0 からの電波の電界強度分布を電波勢力地図として作成、出力する電波勢力地図作成部 3 2 が設けられている。

#### 【 0 0 3 0 】

シミュレーション装置 2 0 は、地図、地形、地物等に関する情報（地図情報）

を格納した地図情報格納部 2 2 と、地図情報を参照し、地図上のセンサ局 1 2 から仮想的な電波発射を行い電波伝搬のシミュレーションを行う電波伝搬シミュレータ 2 4 とを備えている。電波伝搬シミュレータ 2 4 は、例えば、レイトレース法 (Ray Tracing) (例えば、IEEE Network Magazine, pp.27-30, November, 1991 を参照) やモーメント法 (Moment Method) (例えば、R. F. Harrington, "Field Computation by Moment Methods", IEEE Press, 1993 を参照) などを用い、地図データ上のセンサ局 1 2 から仮想的に電波を発射したときに生じる電界強度分布を計算機シミュレーションする。

#### 【 0 0 3 1 】

データベース 2 6 は、シミュレーション装置 2 0 によって計算された電界強度分布の行列を格納する。データベース 2 6 に格納された電界強度分布の行列は、電波発射源 1 0 の位置の特定の際に、比較部 2 8 によって参照される。

#### 【 0 0 3 2 】

比較部 2 8 は、シミュレーション装置 2 0 によって計算されデータベース 2 6 に格納されている、センサ局 1 2 a から仮想的な電波を発射したときの電界強度分布の計算機シミュレーションの結果と、実際のセンサ局 1 2 a での電波ホログラム観測の結果とを比較する。この比較結果より、電波発射源 1 0 の位置を特定する。

#### 【 0 0 3 3 】

方向探知トレース図作成部 3 0 は、比較部 2 8 によって特定された電波発射源 1 0 位置から各センサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c までの電波伝搬路のトレースを行って方向探知トレース図 3 4 を作成、出力し、さらに、トレース結果をもとに、電波発射源 1 0 でのアンテナ指向性を推定する。

#### 【 0 0 3 4 】

電波勢力地図作成部 3 2 は、比較部 2 8 によって特定された電波発射源 1 0 の位置と、方向探知トレース図作成部 3 0 による電波発射源 1 0 のアンテナ指向性の推定結果とに基づき、シミュレーション装置 2 0 に電波伝搬の計算機シミュレーションを実行させ、地図上でのその電波発射源 1 0 からの電波の電界強度分布を計算させる。この計算結果を、その電波発射源 1 0 の電波勢力地図 3 6 として

表示、印刷する。

【0035】

本実施形態による電波監視装置は、上記の構成をもとに、地形データや地物データに基づき、センサ局12a側から仮想的な電波発射をしたときの電波発射方向に対する各エリアの電界強度分布を、予め計算機シミュレーションによって算出する。そして、実際にセンサ局12aで観測された電波再生像から得られる電波の到来方向及びそれらの強度と、計算機シミュレーションによる電界強度分布とを比較することにより、電波発射源10の位置を特定することに特徴がある。

【0036】

(電波監視方法)

次に、本実施形態による電波監視方法について図1乃至図6を用いて詳述する。電波監視に先立ち、地図データ上のセンサ局12aから仮想的な電波発射を行ったときの2次元モデルの電界強度分布のシミュレーションを行う。以下に、電界強度分布の計算機シミュレーションについて図3及び図4を用いて詳述する。以下に述べる計算機シミュレーションはレイトレース法を用いたものである。レイトレース法とは、電波源から無数のレイ（光線）が発射されているものとして、そのレイを一定角度ごとに逐次奇跡の追跡を行う手法である。従って、そのレイが地面や建物にぶつかった場合にはその点を反射点として反射方向へのレイを更に追跡し、建物のエッジ部分にぶつかった場合はその点を回折点としてそこから再び複数のレイを発生させる方法である。

【0037】

まず、電波伝搬シミュレータ24によって、地図情報格納部22から、シミュレーションを行う地域の地図データを参照し、図3に示すように、シミュレーションの対象とする地域を格子状に $M \times N$ 個のエリアに分割する。分割した各エリアにはエリア番号1、2、…、 $MN-1$ 、 $MN$ を付与する。地図データには、地形や地物に関する情報がマッピングされている。図3では、建物13a、建物13bがある場合を考える。

【0038】

続いて、図3に示すように、地図データ上のセンサ局12aから $L_k$ 方向に一

本のレイ ( Ray ) を発射し、このレイの伝搬経路と各エリアを通過したときの電界強度を計算する。計算されたレイの電界強度を、行番号に発射したレイのレイ番号  $L_k$  を有し、列番号にエリア番号を有する行列の要素として記録する。この電界強度の分布を記録する行列を次の表 1 に示す。

【0039】

【表 1】

レイ番号 $L_k$ \ エリア番号	1	2	3	.	.	.	MN
1	$E_{11}$	$E_{12}$	$E_{13}$	.	.	.	$E_{1MN}$
2	$E_{21}$	$E_{22}$					
3	$E_{31}$		.				
.	.			.			
.	.				.		
.	.					.	
.	.						.

【0040】

このとき、センサ局 12a を起点として、レイの移動距離に比例した太さをレイにもたせるものとし、太さを有するレイが各エリアの一部にかかった場合も、そのレイがそのエリアを通過したものみなす。また、一つのエリアに複数のレイが通過した場合は、そのうちの最大強度を与えるレイの電界強度を表 1 の行列に記録するものとする。

【0041】

上記のシミュレーションの手順を、図 3 に示すように、センサ局 12a を起点として  $L_k$  方向に発射されたレイが、建物 13a の p 点で反射し、建物 13b の q 点に到達する場合を用いて具体的に説明する。ここで、センサ局と p 点との間を結ぶ線分を線分 a とし、p 点と q 点との間を結ぶ線分を線分 b とする。

【0042】

まず、レイがセンサ局 12a から発射され、レイが建物 13a の p 点に到達する間の線分 a が通過したエリアについて、対応する行列の要素 ( $L_k$ , エリア番

号) に次の数 1 により計算される電界強度を記録する。

【0043】

【数 1】

$$E_0 \frac{\exp(-jkr)}{r}$$

【0044】

ただし、 $E_0$  はセンサ局 12 a 発射時の電波の電界強度、 $r$  はセンサ局 12 a から各エリアの中心までの距離、 $k$  は電波の波数である。

【0045】

続いて、レイが建物 13 a の  $p$  点で反射し、反射波が建物 13 b の  $q$  点に到達する間の線分  $b$  が通過したエリアについて、対応する行列の要素 ( $L_k$ , エリア番号) に次の数 2 により計算される電界強度を記録する。

【0046】

【数 2】

$$E_0 \frac{\exp(-jka)}{a} \cdot R \cdot \exp(-jkr') \frac{a}{a+r'}$$

【0047】

ただし、 $a$  は線分  $a$  の長さであり、 $r'$  は  $p$  点を基点とした各エリアの中心までの距離である。

【0048】

$R$  は反射係数であり、以下のようにして求められる。

【0049】

まず、スネルの法則より媒質 1 から媒質 2 に平面波が入射するときの複素屈折率  $n$  は次の数 3 で表される。



【0050】

【数3】

$$n = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}} \sqrt{\frac{\epsilon_2 - j\sigma_2/\omega}{\epsilon_1 - j\sigma_1/\omega}}$$

【0051】

ここで、 $\epsilon_1$ 、 $\mu_1$ 、 $\sigma_1$ は、それぞれ媒質1の誘電率、透磁率、導電率である。  
 $\epsilon_2$ 、 $\mu_2$ 、 $\sigma_2$ は、それぞれ媒質2の誘電率、透磁率、導電率である。求めようとする反射係数Rは、複素屈折率nを用いて、入射電界が入射面内にあるとき、すなわちTM (Transverse Magnetic) 入射の場合は次の数4で表される。

【0052】

【数4】

$$R = \frac{\mu_1 n^2 \cos \theta - \mu_2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{\mu_1 n^2 \cos \theta + \mu_2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}$$

【0053】

一方、入射電界が入射面に垂直であるとき、すなわちTE (Transverse Electric) 入射の場合は次の数5で表される。

【0054】

【数5】

$$R = \frac{\mu_1 \cos \theta - \mu_2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{\mu_1 \cos \theta + \mu_2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}$$

【0055】

続いて、建物 13 a の p 点で反射したレイが建物 13 b の q 点に到達し、q 点で回折したときの回折波の線分  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ 、…を求める。ここで、レイが建物 13 b の角に入射した場合、すなわち q 点が建物 13 b の角に位置する場合には、その角から複数のレイを面放射するものとする。

【0056】

線分  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ 、…が通過したエリアについて、対応する行列の要素 ( $L_k$ ， エリア番号) に次の数 6 を記録する。

【0057】

【数 6】

$$E_0 \frac{\exp(-jk(a+b))}{a+b} \cdot R \cdot D \cdot \exp(-jkr'') \sqrt{\frac{a+b}{r''(r''+a+b)}}$$

【0058】

ただし、b は線分 b の長さであり、 $r''$  は q 点を基点とした各エリアの中心までの距離、D は回折係数であり、図 4 に示す座標系を用いて次の数 7 から計算される。

【0059】

【数 7】

$$D = -\hat{\beta}'_0 \hat{\beta}_0 D_s - \hat{\phi}' \hat{\phi} D_h$$

【0060】

ただし、 $\beta_0$ 、 $\beta'_0$ 、 $\phi$ 、 $\phi'$ 、 $\rho^d$ 、 $s^d$  は、それぞれ図 4 に示すような位置関係を表す物理的なパラメータであり、図 4 で  $E^0$  は入射波、 $E^d$  は回折波である。また、 $D^s$  及び  $D^h$  は、UTD 法 (R. G. Kouyoumjian, P. H. Pathak, Proceeding of the IEEE, no.11, pp.1448-1461, December, 1974 を参照) によりフレネル積分関数 F を用いて次の数 8 のように表される。

【0061】

【数8】

$$D_h^s = \frac{-\exp\left(-j\frac{\pi}{4}\right)}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_0}} \times \left\{ \left[ \cot\left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n}\right) F(kLa^+(\phi - \phi')) \right. \right. \\ \left. \left. + \cot\left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right) F(kLa^-(\phi - \phi')) \right] \right. \\ \left. \mp \left[ \cot\left(\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n}\right) F(kLa^+(\phi + \phi')) \right. \right. \\ \left. \left. + \cot\left(\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right) F(kLa^-(\phi + \phi')) \right] \right\}$$

【0062】

ここで、 $L$ 、 $a^+(x)$ 、 $a^-(x)$  はそれぞれ次の数9のように表される。

【0063】

【数9】

$$L = \frac{s^d \rho^d}{s^d + \rho^d}, \quad a^\pm(x) = 2\cos\left(\frac{2n\pi N^\pm - (x)}{2}\right)$$

【0064】

ただし、 $N^+$ 、 $N^-$  は次の数10で表される。

【0065】

【数10】

$$N^\pm = \text{int} \left[ \frac{\pm \pi + (x)}{2n\pi} + 0.5 \right]$$

## 【0066】

上述の操作を、センサ局12aから発射するレイの方向 $L_k$ を変化しながら繰り返し、表1に示す $L_k$ に対する電界強度分布の行列を完成する。得られた電界強度分布の行列をデータベース26に記録しておく。こうして、電波伝搬のシミュレーションを終了する。

## 【0067】

図1に示すように複数のセンサ局12a、12b、12cを配置した場合は、センサ局12a以外についても上述のシミュレーションを行い、複数センサ局による同時監視を行えるようにしてもよい。センサ局を複数用いることによって不感地域をなくすることができるほか、測定データを多くすることで電波発射源の位置の推定精度を向上させることができる。

## 【0068】

以上のように、予め電波伝搬のシミュレーションを行ったうえで、電波監視を開始する。電波監視は、図6に示すフローチャートの手順に従って行われる。

## 【0069】

まず、センサ局12aにより電波ホログラム観測を行い、電波再生像を取得する（ステップS11）。電波ホログラム観測により、電波の到来方向と強度とを関連づけて測定することができる。

## 【0070】

続いて、比較部28によって、センサ局12aで観測された電波再生像から得られる電波の到来方向及び強度パターンと、データベース26に格納されている電界強度分布の行列の列ベクトルそれぞれのパターンとの比較を行う（ステップS12）。

## 【0071】

電波伝搬では、一般に、送信と受信について電波伝搬経路の可逆性が成立し、また、伝搬減衰量の可逆性、すなわち送信と受信を入れ換えても伝搬減衰量は同じであるということが成立する。

## 【0072】

したがって、電界強度分布の行列の列ベクトルのうち、最も一致度の高い列ベ

クトルのエリア番号を有するエリアを電波発射源 1 0 の位置とすることができる。

#### 【 0 0 7 3 】

このようにして電波発射源 1 0 を特定する方法を採用することにより、電波監視を行う地域内の複数の地点の各々について、当該地点に電波発射源があるとしたときのセンサ局で観測される電波再生像を、地図情報を利用する計算機シミュレーションによって算出する必要がなく、電波監視の効率を向上することができる。

#### 【 0 0 7 4 】

上述の一致度の比較では、通常のパターンマッチングの手法を用いることができる。例えば、電波再生像における電波の最大レベルが 0 d B であるとするれば、電波レベルが - 4 0 d B 以上の部分のパターンを比較し、図形としての相関係数を求めるといった手法を用いる。電波発射源 1 0 のアンテナ指向性が分からないので、電波の到来方向に主に着目して一致性の高いものを探索するようにする。

#### 【 0 0 7 5 】

センサ局 1 2 a だけでなく、センサ局 1 2 b、センサ局 1 2 c を用いて同時監視を行う場合は、センサ局 1 2 a の場合と同様に、予め仮想的な電波発射を行ったときの電界強度分布のシミュレーションの結果をデータベース 2 6 に格納しておき、実際に電波ホログラム観測によって得られた結果との比較を行う。

#### 【 0 0 7 6 】

次いで、電波発射源 1 0 の位置を特定した後、方向探知トレース図作成部 3 0 により、比較部 2 8 によって特定された電波発射源 1 0 位置から各センサ局 1 2 a、1 2 b、1 2 c までの電波伝搬路のトレースを行って方向探知トレース図 3 4 を作成、出力する（ステップ S 1 3）。

#### 【 0 0 7 7 】

なお、地図データ上のセンサ局 1 2 a から仮想的な電波発射を行ったときの電界強度分布のシミュレーションの際に、得られた電界強度分布の行列に対応してレイの経路情報をデータベース 2 6 に記録しておくことにより、方向探知トレース図作成部 3 0 を用いることなく、電波発射源 1 0 の位置の特定と同時に、電波

伝搬経路のトレース結果を得ることができる。

【0078】

さらに、上述のトレース結果をもとに、電波発射源10でのアンテナ指向性を以下のようにして推定する（ステップS14）。

【0079】

まず、各センサ局12a、12b、12cによって電波ホログラム観測を行い、電波再生像を取得する。各センサ局12a、12b、12cで得られた電波再生像から、伝搬経路ごとの電波の到来方向とその強度を抽出する。

【0080】

図5（a）～（c）は、それぞれセンサ局12a、12b、12cでの観測による電波の振幅を示している。太線の矢印の向きがその伝搬経路の電波の到来方向を示し、その矢印の長さが電波の振幅を示している。図示した例では、伝搬経路ごとの振幅が、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ となっている。一方、シミュレータ装置23によって、すでに求めた電波発射源10の位置に無指向性の送信アンテナがあってそこから電波が発射されているものとして、電波伝搬シミュレーションを行い、伝搬経路ごとに、各センサ局12a、12b、12cでの電波の振幅を求める。

【0081】

図5（d）～（f）は、各センサ局12a、12b、12cでのシミュレーションによる電波の振幅を示しており、伝搬経路ごとの振幅は、 $a_1'$ 、 $a_2'$ 、 $b_1'$ 、 $b_2'$ 、 $c_1'$ 、 $c_2'$ となっている。そして、伝搬経路 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$ 、 $P_6$ ごとに観測による振幅をシミュレーションによる振幅で除算することによって、電波発射源の位置での各伝搬経路の方向への、送信アンテナの指向性を求めることができる。

【0082】

図5（g）において黒丸は各伝搬経路の方向への指向性を示している。そして、想定されるアンテナの種類などを考慮して補間計算を行えば、任意の方向に対する指向特性を算出することができる。図5（g）の破線はこのようにして算出した指向特性を示している。

## 【 0 0 8 3 】

また、電波勢力地図作成部 3 2 によって、方向探知トレース図作成部 3 0 による電波発射源 1 0 のアンテナ指向性の推定結果とともに、シミュレーション装置 2 0 に電波伝搬の計算機シミュレーションを実行させ、地図上でのその電波発射源 1 0 からの電波の電界強度分布を計算させる。この計算結果を、その電波発射源 1 0 の電波勢力地図 3 6 として表示、印刷する（ステップ S 1 5）。

## 【 0 0 8 4 】

こうして特定地域内の電波発射源 1 0 の位置を特定し、同時に、方向探知トレース図の作成、電波発射源 1 0 の送信アンテナの指向性の推定、電波勢力地図の作成を行い、電波監視を終了する。

## 【 0 0 8 5 】

このように、本実施形態によれば、地域内の複数の地点の各々について、当該地点に電波発射源があるとしたときのセンサ局で観測される電波再生像を計算機シミュレーションによって算出する必要がないので、電波伝搬シミュレーションによるデータベースの作成時間を短縮し、電波監視の効率を向上することができる。

## 【 0 0 8 6 】

次に、本発明の他の実施形態による電波監視方法及び装置について図 7 を用いて説明する。図 7 は、3 次元の電波伝搬シミュレーションモデルを示す概略図である。

## 【 0 0 8 7 】

本実施形態による電波監視方法及び装置は、地図データ上のセンサ局 1 2 a から仮想的な電波発射を行ったときの電界強度分布のシミュレーションを 3 次元モデルを用いて行うことに特徴がある。電界強度分布のシミュレーションを 3 次元モデルを用いて行う点を除いては、上記実施形態と同様である。以下に本実施形態における電界強度分布のシミュレーションについて説明する。

## 【 0 0 8 8 】

まず、図 7 に示すように、監視区域を  $x \times y \times z$  個の単位空間に分割し、各単位空間に空間番号 1、2、3、…、 $x y z - 1$ 、 $x y z$  を付与する。

## 【 0 0 8 9 】

続いて、地図データ上のセンサ局 1 2 a から  $L_k$  方向に一本のレイを発射し、このレイの伝搬経路と各单位空間を通過したときの電界強度を、上記実施形態における 2 次元モデルでの場合と同様に計算する。計算されたレイの電界強度を、行番号に発射したレイのレイ番号  $L_k$  を有し、列番号に単位空間番号を有する行列の要素として記録する。

## 【 0 0 9 0 】

このとき、センサ局 1 2 a を起点として、レイの移動距離に比例した太さをレイにもたせるものとし、太さを有するレイが各エリアの一部にかかった場合も、そのレイがそのエリアを通過したものとみなす。また、一つのエリアに複数のレイが通過した場合は、そのうちの最大強度を与えるレイの電界強度を上述の行列に記録する。

## 【 0 0 9 1 】

センサ局 1 2 a を起点として  $L_k$  方向に発射されたレイが、建物 1 3 a の p 点で反射する場合や、建物 1 3 b の q 点で回折する場合についても、上記実施形態と同様にレイの電界強度を計算する。この際、建物 1 3 a、1 3 b の 3 次元情報を考慮して反射や回折の方向を決定する。

## 【 0 0 9 2 】

上述の操作を、センサ局 1 2 a から発射するレイの方向  $L_k$  を 3 次元的に変化しながら繰り返し、2 次元モデルでの場合と同様に、 $L_k$  に対する電界強度分布の行列を完成する。得られた電界強度分布の行列をデータベース 2 6 に記録しておく。こうして、電波伝搬のシミュレーションを終了する。

## 【 0 0 9 3 】

上述の電波伝搬のシミュレーションの結果を用いて、以後、図 6 に示すフローチャートに従って、上記実施形態と同様に電波監視を行うことができる。

## 【 0 0 9 4 】

このように、本実施形態によれば、地域内の複数の地点の各々について、当該地点に電波発射源があったときのセンサ局で観測される電波再生像を計算機シミュレーションによって算出する必要がないので、電波伝搬シミュレーション



によるデータベースの作成時間を短縮し、電波監視の効率を向上することができる。

【 0 0 9 5 】

【発明の効果】

以上の通り、本発明によれば、一の地点における観測結果を、一の地点から電波を発射したときに他の複数の地点において観測される電波の到来方向及び強度のパターンのシミュレーション結果と比較し、複数の地点のうち一の地点における観測結果と最も相関の強い電波の到来方向及び強度のパターンを与える地点を電波発射源と特定するので、電波伝搬シミュレーションによるデータベースの作成時間を短縮し、電波監視の効率を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態による電波監視方法を示す概略図である。

【図 2】

本発明の一実施形態による電波監視装置の構成を示すブロック図である。

【図 3】

電波伝搬シミュレーションモデルを示す概略図である。

【図 4】

回折係数を求めるための座標系を示す概略図である。

【図 5】

電波発射源の送信アンテナの指向性の推定を説明する図である。

【図 6】

本発明の一実施形態による電波監視方法の手順を示すフローチャートである。

【図 7】

3 次元の電波伝搬シミュレーションモデルを示す概略図である。

【符号の説明】

1 0 … 電波発射源

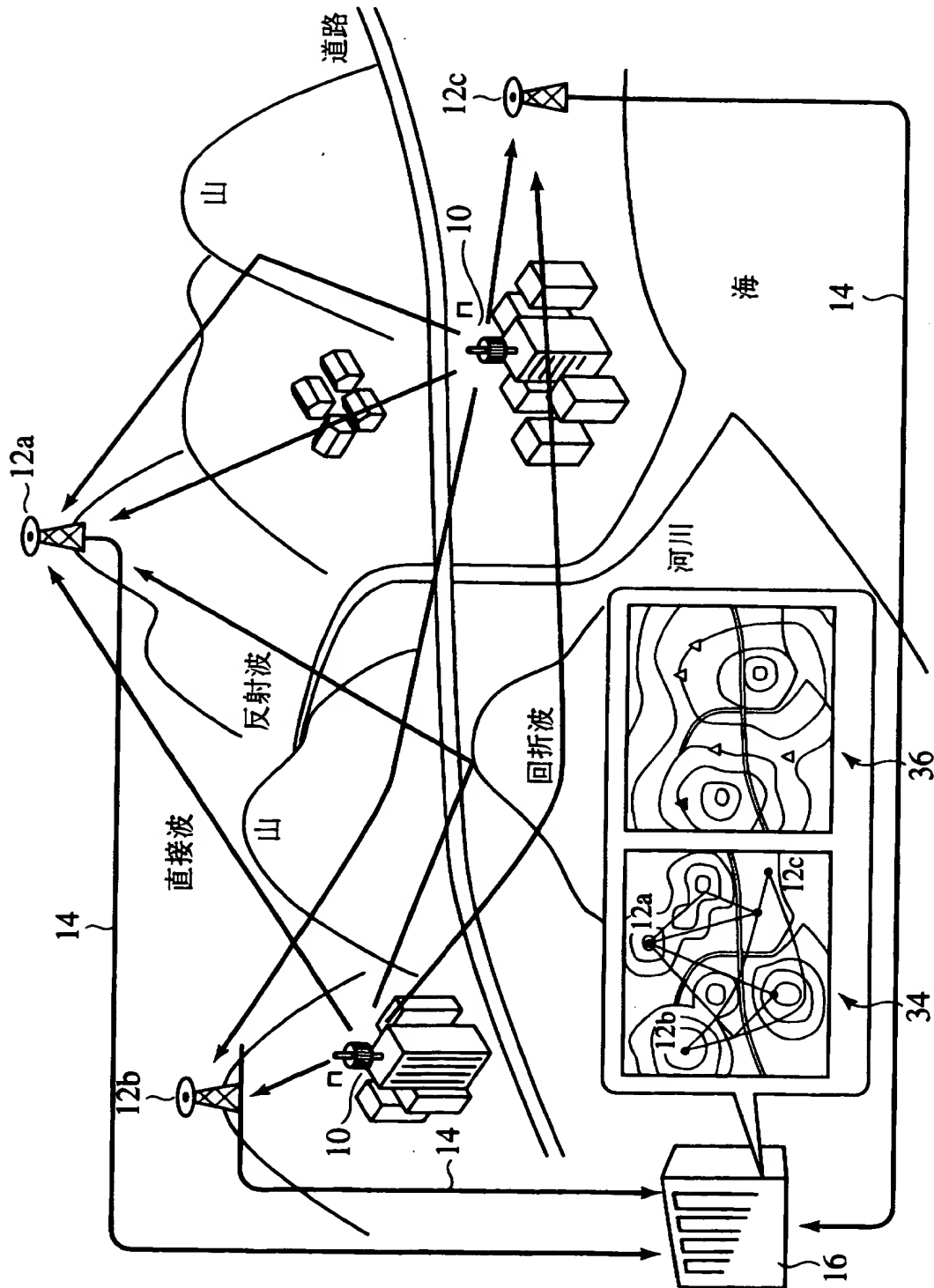
1 2 a、1 2 b、1 2 c … センサ局

1 3 a、1 3 b … 建物

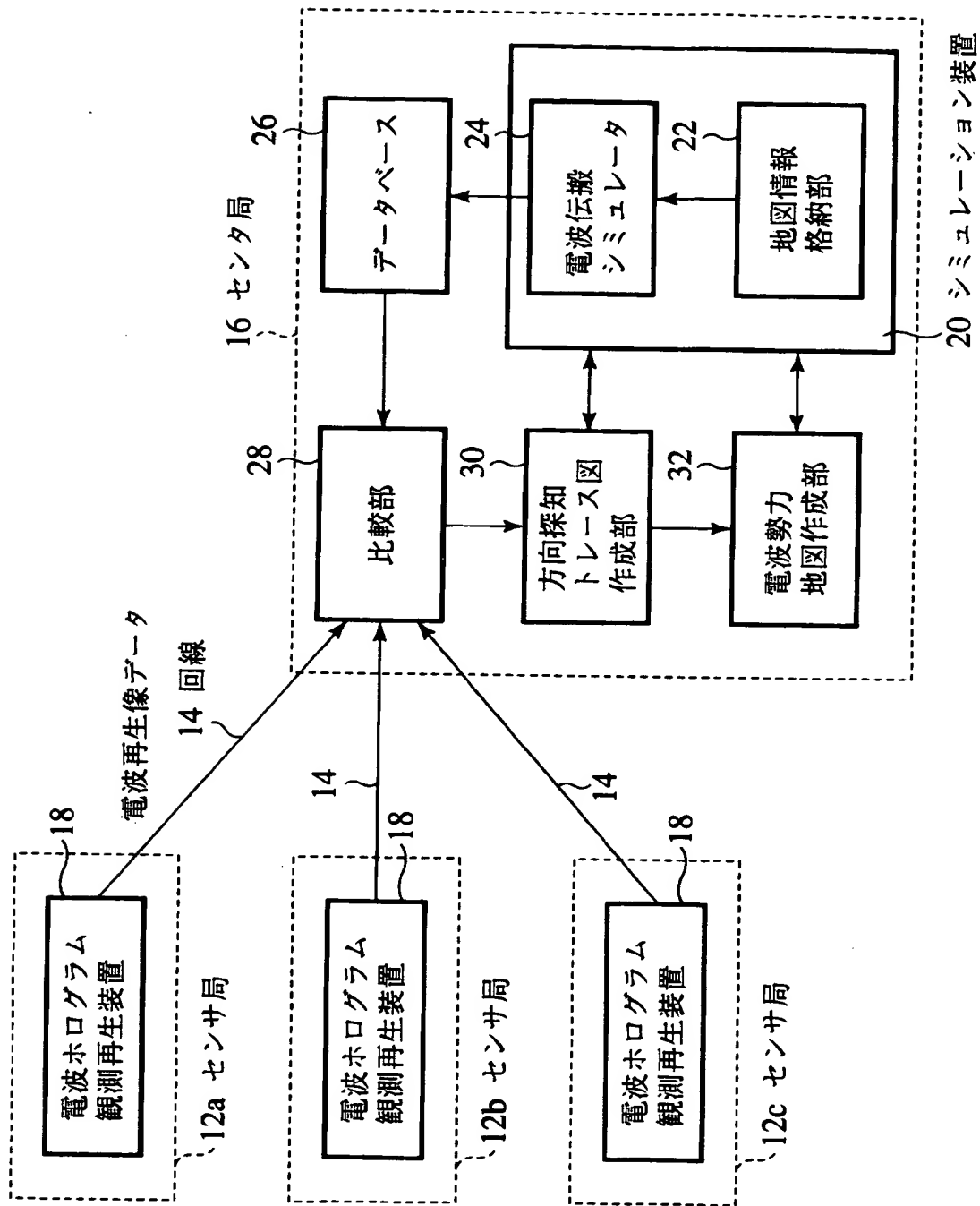
- 1 4 … 回線
- 1 6 … センタ局
- 1 8 … 電波ホログラム観測再生装置
- 2 0 … シミュレーション装置
- 2 2 … 地図情報格納部
- 2 4 … 電波伝搬シミュレータ
- 2 6 … データベース
- 2 8 … 比較部
- 3 0 … 方向探知トレース図作成部
- 3 2 … 電波勢力地図作成部
- 3 4 … 方向探知トレース図
- 3 6 … 電波勢力地図
- S 1 1、S 1 2、S 1 3、S 1 4、S 1 5 … ステップ

【書類名】 図面

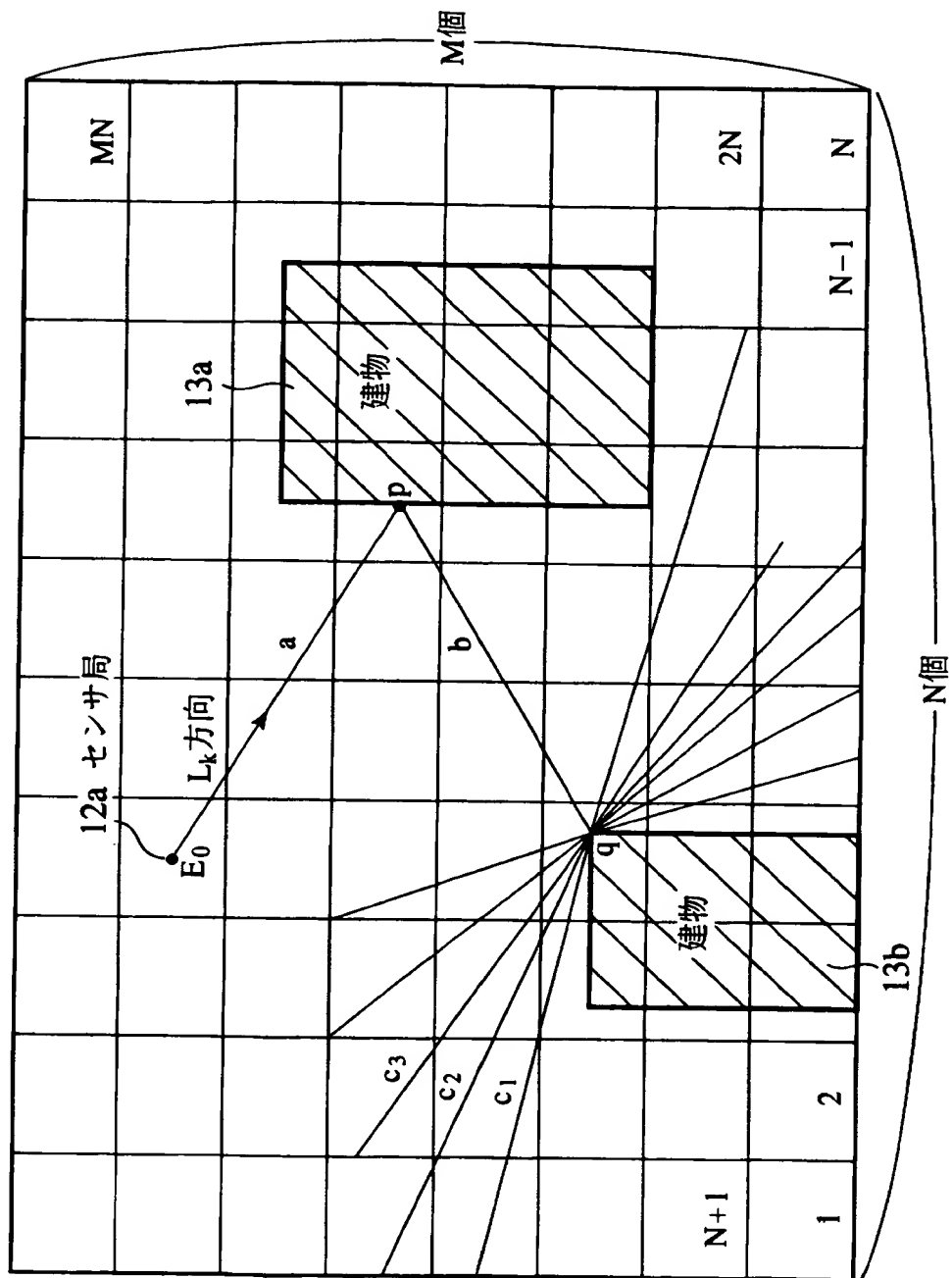
【図 1】



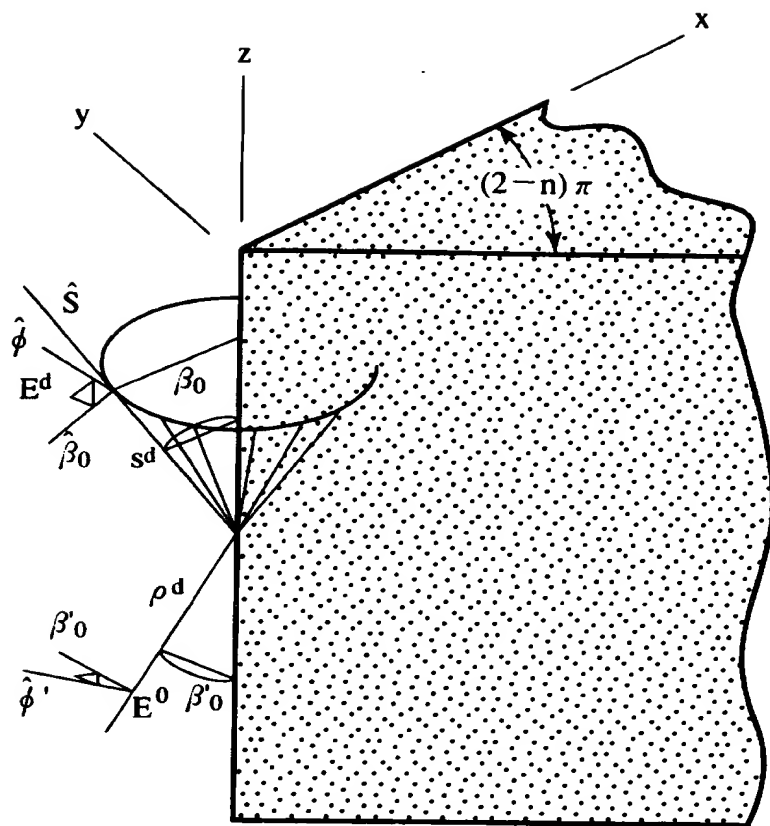
【図 2】



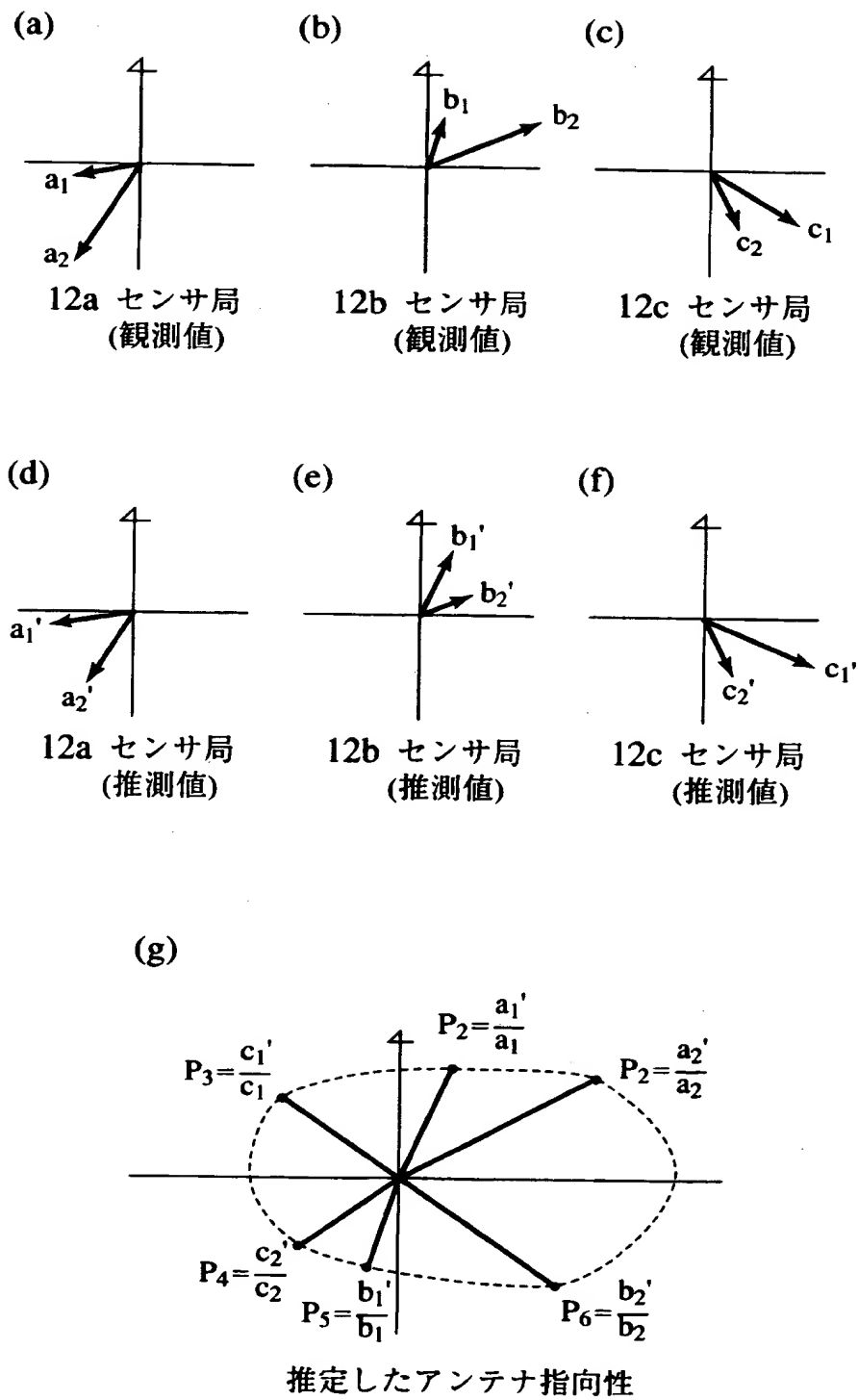
【図3】



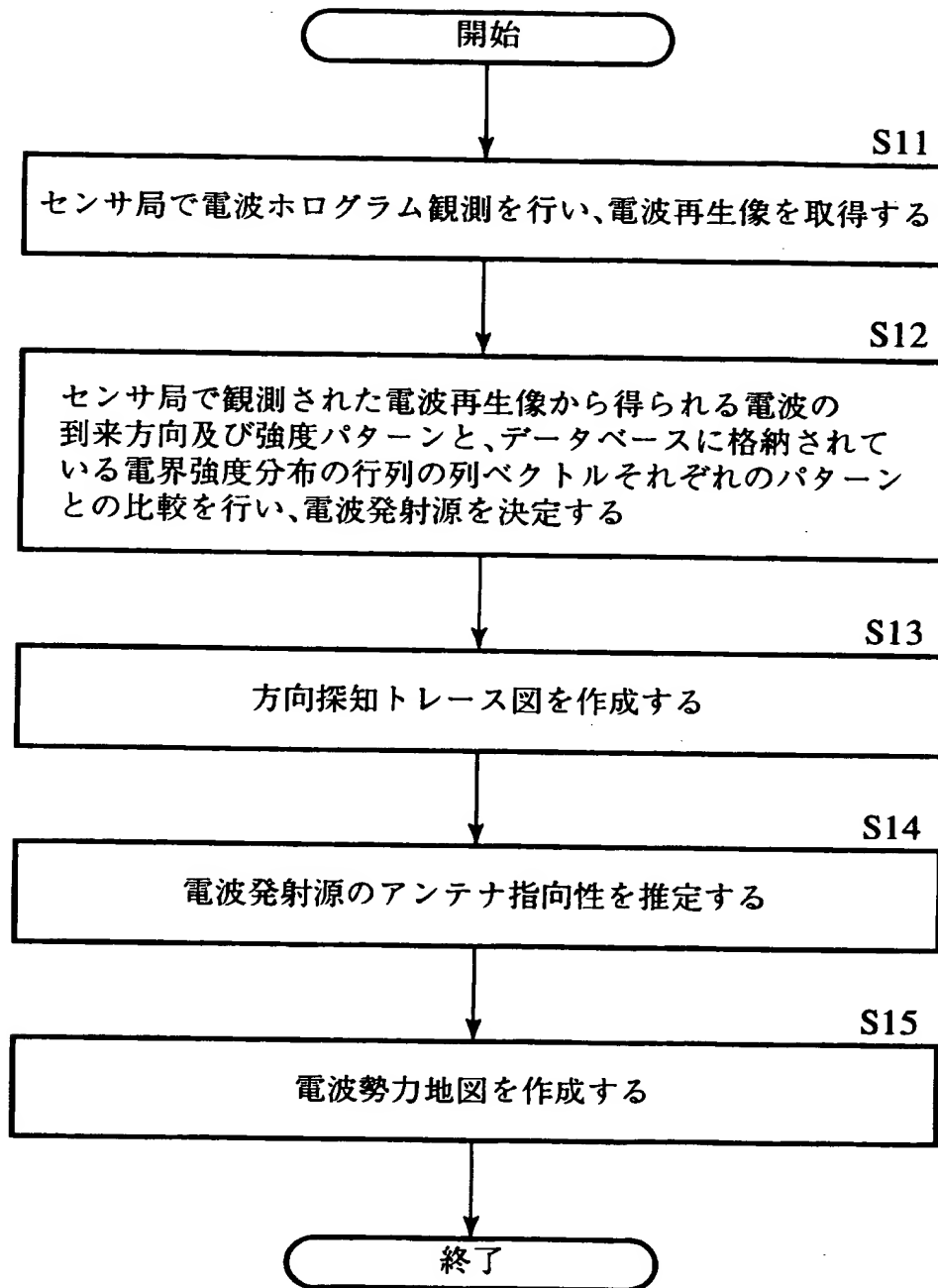
【図4】



【図 5】

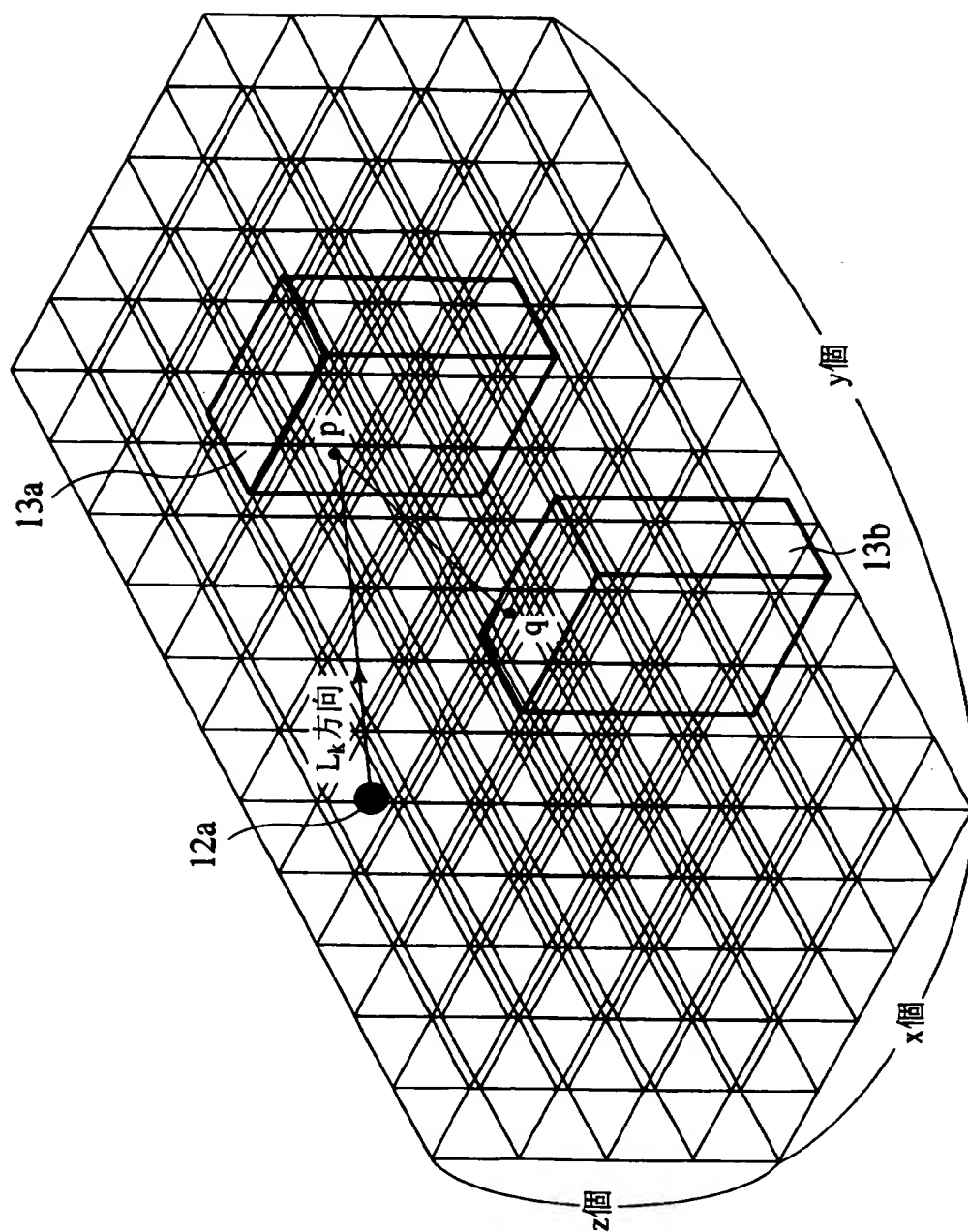


【図 6】





【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電波伝搬シミュレーションによるデータベースの作成時間を短縮し、電波監視の効率を向上する電波監視方法及び装置を提供する。

【解決手段】 センサ局 1 2 a において電波の到来方向及び強度のパターンを観測し、センサ局 1 2 a における観測結果を、センサ局 1 2 a から電波を発射したときに他の複数の地点において観測される電波の到来方向及び強度のパターンのシミュレーション結果と比較し、複数の地点のうちセンサ局 1 2 a における前記観測結果と最も相関の強い電波の到来方向及び強度のパターンを与える地点を電波発射源と特定する。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [390005175]

1. 変更年月日 1990年10月15日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都練馬区旭町1丁目32番1号

氏 名 株式会社アドバンテスト